

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problems Mailbox.**

日本国特許庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

48864-039
TOYAMA et al.
June 29, 2001
McDermott, Will & Emery

PRO
JC974 U.S. 09/09/01
06/29/01

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application: 2000年 6月 30日

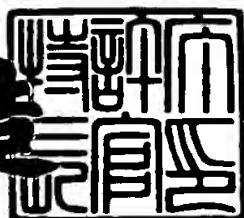
出願番号
Application Number: 特願 2000-197777

出願人
Applicant(s): ミノルタ株式会社
株式会社ゲン・テック

2001年 3月 2日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特 2001-3014276

【書類名】 特許願
【整理番号】 TL03555
【提出日】 平成12年 6月30日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G06F 15/60
【発明の名称】 形状モデルの生成方法
【請求項の数】 6
【発明者】
【住所又は居所】 大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号 大阪国際
ビル ミノルタ株式会社内
【氏名】 遠山 修
【発明者】
【住所又は居所】 大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号 大阪国際
ビル ミノルタ株式会社内
【氏名】 藤井 英郎
【発明者】
【住所又は居所】 東京都渋谷区広尾5-19-9 広尾ONビル 株式会
社ゲン・テック内
【氏名】 トマシ コワルチク
【特許出願人】
【識別番号】 000006079
【氏名又は名称】 ミノルタ株式会社
【特許出願人】
【識別番号】 598108467
【氏名又は名称】 株式会社ゲン・テック
【代理人】
【識別番号】 100086933
【弁理士】
【氏名又は名称】 久保 幸雄

【電話番号】 06-6304-1590

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 010995

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9716123

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 形状モデルの生成方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】

標準モデルを計測データに基づいて変形させて形状モデルを生成する方法であつて、

前記標準モデルとして低解像度のモデルを用い、低解像度のモデルを計測データに基づいて変形する第1ステップと、

前記標準モデルとして高解像度のモデルを用い、前記第1ステップで得られた情報を適用した後に高解像度のモデルを計測データに基づいて変形する第2ステップと、

を有することを特徴とする形状モデルの生成方法。

【請求項2】

第2ステップにおいて、第1ステップで得られた情報を適用する際に、低解像度のモデルと高解像度のモデルとの間で設定された対応関係を用いることにより、低解像度のモデルの変形結果に基づいて高解像度のモデルに予め変形を与える

請求項1記載の形状モデルの生成方法。

【請求項3】

低解像度のモデルは高解像度のモデルからその構成点を間引いたものである、

請求項1または2記載の形状モデルの生成方法。

【請求項4】

標準モデルを計測データに基づいて変形させて形状モデルを生成する方法であつて、

前記標準モデルには標準モデルを変形させるための制御点が定義されており、低密度の制御点を用い前記標準モデルを計測データに基づいて変形する第1ステップと、

高密度の制御点を用い第1ステップで変形された標準モデルをさらに計測データに基づいて変形する第2ステップと、

を有することを特徴とする形状モデルの生成方法。

【請求項5】

低解像度の制御点は高解像度の制御点からその制御点を間引いたものである、

請求項4記載の形状モデルの生成方法。

【請求項6】

第1ステップと第2ステップとで変形を行うための条件が異なる、

請求項4または5記載の形状モデルの生成方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、形状モデルの生成方法に関し、例えばコンピュータグラフィックスの分野における3次元モデルの生成に利用される。

【0002】

【従来の技術】

近年において、映画やゲームなどに3次元CG（3次元コンピュータグラフィックス）の技術がしばしば用いられている。3次元CGでは、仮想的な3次元空間内に3次元モデルやライトを配置して動かすので、表現の自由度が高い。

【0003】

従来より、光切断法などによる非接触型の3次元計測装置が実用化されており、これを用いて計測を行うことにより、対象物の3次元データを比較的容易に作成することができる。しかし、計測によって得られた3次元データをそのまま3次元CGに用いるには、得られたデータの間引きなどを行ってデータ量を減らすための処理が複雑であるなど、種々の問題がある。

【0004】

この問題に対処するため、対象物の標準モデルを準備しておき、計測された3次元データに合わせて標準モデルを変形する方法が提案されている（特開平5-81377号）。

【0005】

この従来の方法では、計測によって得られた3次元データの3次元形状情報、

つまり3次元に存在する点群をフィッティング対象として用い、それら3次元の点群に標準モデルの表面をフィッティングさせる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、上に述べた従来の方法では、計測された3次元の点群に合わせて標準モデルの面を変形させるに際し、データ量が多いためその演算に多大な時間を要する。

【0007】

また、データ量を減らすために3次元の点群の個数を少なくすると、生成される3次元モデルの精度が低下し、例えば人の細かい表情を表現することが困難である。3次元の点群の個数を多くし過ぎると、標準モデルをフィッティングする場合に局所的な変形に陥る可能性があり、かえって全体形状を損うおそれがある

【0008】

本発明は、上述の問題に鑑みてなされたもので、演算時間を短縮することができ、全体形状を合わせつつ、局所的な形状も精度よく再現できる、形状モデルの生成方法を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】

本発明に係る方法は、標準モデルを計測データに基づいて変形させて形状モデルを生成する方法であって、前記標準モデルとして低解像度のモデルを用い、低解像度のモデルを計測データに基づいて変形する第1ステップと、前記標準モデルとして高解像度のモデルを用い、前記第1ステップで得られた情報を適用した後に高解像度のモデルを計測データに基づいて変形する第2ステップと、を有する。

【0010】

例えば、第2ステップにおいて、第1ステップで得られた情報を適用する際に、低解像度のモデルと高解像度のモデルとの間で設定された対応関係を用いることにより、低解像度のモデルの変形結果に基づいて高解像度のモデルに予め変形

を与える。

【0011】

低解像度のモデルは、高解像度のモデルからその構成点を間引くことにより生成される。

本発明の他の形態では、標準モデルには標準モデルを変形させるための制御点が定義されており、低密度の制御点を用い前記標準モデルを計測データに基づいて変形する第1ステップと、高密度の制御点を用い第1ステップで変形された標準モデルをさらに計測データに基づいて変形する第2ステップと、を有する。

【0012】

低解像度の制御点は、高解像度の制御点からその制御点を間引くことにより生成される。

第1ステップと第2ステップとで変形を行うための条件を異ならせてもよい。

【0013】

本発明において、フィッティングとは、標準モデルの変形処理、またはそれを含む一連の処理をいう。フィッティングに際し、例えば対象物を計測して取得された3次元データまたは2次元画像が用いられる。

【0014】

【発明の実施の形態】

図1は本発明に係るモデリング装置1を示すブロック図である。

本実施形態においては、予め作成した標準モデルを人の頭部についての計測データ（3次元データまたは2次元画像）に基づいて変形する（フィッティングする）ことにより、人の頭部の3次元モデルを生成する例を説明する。

【0015】

図1に示すように、モデリング装置1は、処理装置10、磁気ディスク装置11、媒体ドライブ装置12、ディスプレイ装置13、キーボード14、マウス15、および3次元計測装置16などからなる。

【0016】

処理装置10は、CPU、RAM、ROM、ビデオRAM、入出力ポート、および各種コントローラなどからなる。RAMおよびROMなどに記憶されたプロ

グラムをC P Uが実行することにより、処理装置10上に種々の機能が実現される。

【0017】

磁気ディスク装置11には、O S (Operating System)、3次元モデルM Lを生成するためのモデリングプログラムP R、その他のプログラム、標準モデル（標準モデルデータ）D S、3次元データ（3次元計測データ）D T、3次元データD Tの信頼性を示す信頼性データD R、2次元画像（2次元計測データ）F T、生成された3次元モデルM L、その他のデータなどが格納されている。これらのプログラムおよびデータは、適時、処理装置10のR A Mにローディングされる。

【0018】

なお、モデリングプログラムP Rには、計測処理、概略位置合わせ、データ削減処理、変形処理、部分領域選択処理、およびその他の処理のためのプログラムが含まれる。

【0019】

媒体ドライブ装置12は、C D - R O M (C D)、フロッピィディスクF D、または光磁気ディスクなどの記録媒体にアクセスし、データまたはプログラムの読み書きなどを行うものである。記録媒体の種類に応じて適切なドライブ装置が用いられる。上に述べたモデリングプログラムP Rは、これら記録媒体からインストールすることが可能である。標準モデルD S、3次元データD T、信頼性データD R、および2次元画像F Tなども、記録媒体を介して入力することが可能である。

【0020】

ディスプレイ装置13の表示面H Gには、上に述べた種々のデータ、およびモーデリングプログラムP Rにより生成された3次元モデルM L、その他のデータ（画像）が表示される。

【0021】

キーボード14およびマウス15は、処理装置10にデータを入力しましたは指令を与えるために用いられる。

3次元計測装置16は、例えば光切断法によって対象物の3次元データDTを得るためのものである。3次元計測装置16によって直接的に3次元データDTを得ることも可能であり、また、3次元計測装置16から出力されるデータに基づいて処理装置10などで演算を行い、間接的に3次元データDTを得ることも可能である。

【0022】

3次元データDTと同時に、必要に応じて同じ対象物について同じ視線上の2次元画像FTを取得することも可能である。そのような3次元計測装置16として、例えば特開平10-206132号に示される公知の装置を用いることが可能である。

【0023】

また、対象物の3次元データDTを取得する公知の他の方法として、対象物に対して視差を有して配置された複数のカメラを用いる方法などがある。それらのカメラから得られた視差を有する複数の画像から、立体写真法を用いて3次元データDTを演算により求めることができる。

【0024】

この方法では、例えば3台のカメラを用いることにより、3次元データDTの各点の信頼性を判定するためのデータをも同時に取得することができる。

すなわち、3台のカメラによる多眼視によって対象物を撮影し、3枚の画像を得る。これら3枚の画像について、互いの対応点を探索する。2枚の画像についての対応点に基づいて、3次元データDTが公知の計算により求められる。他の1枚の画像は、信頼性データDRを得るのに利用される。

【0025】

例えば、図10に示すように、3台のカメラA, B, Cを用い、対象物Qを撮影して3枚の画像FA, FB, FCを取得する。各画像FA, FB, FCについて、それぞれの画像面(u_n, v_n)が示されている($n = 1, 2, 3$)。3次元空間Mにある対象物Q上の点QPが、各画像面上の点PA, PB, PCに投影されている。

【0026】

ここで、点 P A, P B, P C の対応が求まるとすると、それらの対応から、3 次元空間 M' を再構成することができる。3 次元空間 M' において、点 P A, P B に対応する点 Q P' が求まる。理想的には、この再構成された 3 次元空間 M' 上の点 Q P' を画像面 (u₃, v₃) に逆投影した点 P C' と、元の 3 次元空間 M 上の点 Q P を画像面 (u₃, v₃) 上に投影した点 P C とは、一致するはずである。

【0027】

しかし、投影変換を正確に求めることは難しく、また対応を正確に求めることも難しいため、通常、これらは一致しない。そこで、これら点 P C' と点 P C とのずれを誤差とし、信頼性の指標として用いる。

【0028】

例えば、点 P C' と点 P C との誤差を、ずれた画素の数で示す。点 P C' と点 P C とが同じ画素上にあれば、誤差は「0」である。1 画素ずれていれば、誤差は「1」である。2 画素ずれていれば、誤差は「2」である。このずれた画素数を信頼性データ DR として用いることができる。

【0029】

信頼性データ DR を判断する他の方法として、例えば特開昭61-12568 6号に示される方法、その他の公知の方法を用いることも可能である。

モデリング装置 1 は、パーソナルコンピュータまたはワークステーションなどを用いて構成することが可能である。上に述べたプログラムおよびデータは、ネットワーク NW を介して受信することにより取得することも可能である。

【0030】

次に、モデリング装置 1 の全体の処理の流れについて、フローチャートを参照しながら説明する。

図 2 はモデリング装置 1 の全体の処理の流れを示すフローチャート、図 3 は変形処理を示すフローチャート、図 4 は標準モデル D S 1 の例を示す図、図 5 は対象物から 3 次元データ D T を取得する様子を示す図、図 6 (A) (B) は概略の位置合わせの様子を示す図、図 7 は輪郭および特徴点の抽出処理の様子を示す図、図 8 は標準モデル D S の面 S と 3 次元データ D T の点 P とを模式的に示す図、

図9は標準モデルDSの異常変形を防ぐための仮想バネを説明するための図、図10は対象物の3次元データDTおよび信頼性データDRを取得する方法の例を説明する図である。

【標準モデルの準備】

図2において、まず、対象物についての標準モデルDSを準備する（#11）。本実施形態では対象物が人の頭部であるので、種々のサイズおよび形状を有した、頭部の全周についての複数の標準モデル群の中から、対象物の頭部に最もよく似た標準モデルDS1を準備する。

【0031】

標準モデルDSは、ポリゴンで定義された3次元形状モデル、または自由曲面で定義された3次元形状モデルのいずれでもよい。ポリゴンで定義された3次元形状モデルである場合は、各ポリゴンの頂点の3次元座標によって表面の形状が決まる。自由曲面で定義された3次元形状モデルである場合は、曲面を定義する関数、および各制御点の座標によって表面の形状が決まる。

【0032】

なお、ポリゴンで定義された3次元形状モデルである場合に、各ポリゴンの頂点を「構成点」と記載する。

また、標準モデルDSのフィッティングに際して、標準モデルを変形するため用いられる点を「制御点」と呼称する。制御点とポリゴンの構成点との位置関係は任意であり、制御点はポリゴンの面上に設定されていてもよく、ポリゴンの面から離れて設定されていてもよい。1つの制御点は複数の構成点（3～100程度）と関連付けられており、制御点の動きに合わせて関連付けられた構成点が移動する。標準モデルDSのフィッティングに際しては、これら複数の制御点を移動させることによって標準モデルDS全体を変形する。3次元形状モデルが自由曲面で定義されている場合も、フィッティングに使用する制御点の配置は任意である。

【0033】

制御点は、目尻、唇端などのように細かな形状を持つ部分、および、鼻、唇などのように急激な形状の変化を持つ部分には、高い密度で配置される。それ以外

の部分には一様に配置される。

【0034】

標準モデルDSには、ある方向から見た特徴的な輪郭RKおよび特徴点TTが設定される。輪郭RKとして、例えば、目、鼻、口、または顎などに、瞼のライン、鼻のライン、唇のライン、または顎のラインなどが設定される。特徴点TTとして、例えば、目や口の端部、鼻の頂部、顎の下端部のように、実際に特徴のある部分、または、それらの中間のようなそれ自体では特徴はないが位置的に特定し易い部分などが選ばれる。

【0035】

図4に示す標準モデルDS1では、顎のライン、唇のライン、および瞼のラインが輪郭RK1～3として設定されている。図4で分かるように、輪郭RK1は、標準モデルDS1をある方向から見たときに、その縁線となる部分である。また、図4に示す標準モデルDS1では、設定された特徴点TTの一部のみが実際に図に表されている。

【0036】

なお、標準モデルDSとして、構成点の個数の多い（つまり高解像度の）標準型モデルDSEと、構成点の個数の少ない（つまり低解像度の）簡易型モデルDSKとの2種類を用いる場合がある。また、構成点の個数は同じであるが、制御点が高密度である標準型モデルDSFと制御点が低密度である低密度型モデルDSLとの2種類を用いる場合もある。簡易型モデルDSKおよび低密度型モデルDSLは、それぞれ、標準型モデルDSEまたはDSFから構成点または制御点を間引くことによって生成される。

【3次元データの取得】

次に、対象物の3次元計測を行い、3次元データDTを取得する（#12）。その際に、対象物の2次元画像FTをも同時に取得しておく。また、上に述べたように、3次元データDTの各点についての信頼性を示す信頼性データDR、または信頼性データDRを得るための情報を必要に応じて取得しておく。

【0037】

例えば、図5に示すように、3次元計測装置16を用いて、対象物である人の

頭部を計測（撮影）する。これによって、3次元データDTおよび2次元画像FTが取得される。

【0038】

なお、対象物を計測して得た3次元データDTおよび／または2次元画像FTを、「計測データ」と記載することがある。標準モデルDSの準備と3次元データDTの取得とはいずれが先でもよく、並行して進めてもよい。

〔概略の位置合わせ〕

標準モデルDSと3次元データDTとの概略の位置合わせを行う（#13）。この処理では、標準モデルDSと3次元データDTとが概略一致するように、標準モデルDSの向き、サイズ、および位置を変更する。このとき、標準モデルDSを、X, Y, Zのそれぞれの方向に個別に任意の倍率に偏倍することにより、それぞれの方向のサイズを3次元データDTによく合わせることができる。

【0039】

例えば、図6（A）に示すように、3次元データDTに対して、標準モデルDSを回転させ且つ各方向に偏倍することにより、図6（B）に示すように、3次元データDTとほぼ同じサイズの標準モデルDSaを得ることができる。なお、わかりやすくするために、図面上では位置を合わせていないものを示す。

【0040】

概略の位置合わせの手法として、次に説明するように、（1）全体的概略位置合わせ、（2）局所的概略位置合わせ、の2つの手法がある。

これらの手法のうち、（1）の手法は自動で行うことができる。（2）の手法は、その中の特徴点抽出を自動で行うことが困難であるので、一部手動で行う必要がある。概略位置合わせ後のフィッティングでは基本的に標準モデルDSの局所的な変形が行われることになるため、形状が合うことを重視する場合には（1）の手法が好適であり、アニメーションのように形状よりも位置が合って欲しいという場合には（2）の手法が好適である。また、特徴点抽出を行うことに慣れたユーザであれば、処理時間を短縮するために（2）の手法を用いることは効果的である。

〔全体的概略位置合わせ〕

全体的概略位置合わせでは、3次元データDTと標準モデルDSとの距離を最小とするように、標準モデルDSの位置、方向、およびサイズを変更する。

【0041】

すなわち、次の(1)式に示すエネルギー関数 $e(s_i, \alpha_i, t_i)$ が最小となる s_i, α_i, t_i を導く。

なお、 $f(s_i, \alpha_i, t_i)$ は、3次元データDTと標準モデルDSとの距離に関連して定義されるエネルギー関数である。 $g(s_i)$ は、過剰な変形を避けるための安定化工エネルギー関数である。

【0042】

また、3次元計測装置16によって3次元データDTを取得する際に同時に取得した2次元画像FTを用い、2次元画像FT上でのパターンマッチングを用いて、位置、方向、およびサイズの初期値を与えてよい。

【0043】

【数1】

$$\begin{aligned} e(s_i, \alpha_i, t_i) &= f(s_i, \alpha_i, t_i) + g(s_i) && \dots (1) \\ f(s_i, \alpha_i, t_i) &= \sum_k d_k(s_i, \alpha_i, t_i)^2 \\ g(s_i) &= \frac{w_{sc}}{s_0} \left\{ (s_1 - s_0)^2 + (s_2 - s_0)^2 + (s_3 - s_0)^2 \right\} \end{aligned}$$

【0044】

但し、

K : 3次元データの構成点の個数

d_k : 3次元データの構成点と標準モデルの表面との距離

W_{sc} : 偏倍安定化のウエイトパラメータ

S_0 : 初期スケール

S_i : 各方向の偏倍量 (但し、 S_3 は奥行き方向である)

α_i : 標準モデルの各方向の回転

t_i : 標準モデルの各方向への移動量

ここで、標準モデルDS上の構成点は次の(2)式にしたがって移動し、それにもなって、3次元データDTの構成点と標準モデルDSの表面との間の距離dkが変化する。

【0045】

【数2】

$$M_i(s_i, \alpha_i, t_i, x) = Q_{r3}Q_{r2}Q_{r1}Q_r x + t \quad \dots (2)$$

x:変形対象点座標

t:移動ベクトル, $t = [t_1, t_2, t_3]$

Q_{ri} : x_i軸まわりの回転行列, $Q_{ri} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha_i & \sin \alpha_i \\ 0 & -\sin \alpha_i & \cos \alpha_i \end{bmatrix}$ など

Q_r : 偏倍行列, $Q_r = D \begin{bmatrix} s_1 & 0 & 0 \\ 0 & s_2 & 0 \\ 0 & 0 & s_3 \end{bmatrix} D^T$

D:グローバル座標からの変換行列

【0046】

また、3次元計測装置16による計測(撮影)が一方向からに限られる場合に、奥行き方向(Z方向)の偏倍量が正確に得られない場合がある。その場合には、3次元データDTの形状と標準モデルDSの形状に大きな違いはないとみなし、次の(3)式に示すように、X, Y方向の偏倍量(S1, S2)によってZ方向の偏倍量(S3)を補正する方法も考えられる。

【0047】

【数3】

$$e(s_i, \alpha_i, t_i) = f(s_i, \alpha_i, t_i) + g(s_i) \quad \dots (3)$$

$$f(s_i, \alpha_i, t_i) = \sum_k d_k^2$$

$$g(s_i) = \frac{w_{sc}}{s_0} \left\{ (s_1 - s_0)^2 + (s_2 - s_0)^2 + \gamma \left[s_3 - \frac{1}{2}(s_1 + s_2) \right]^2 \right\}$$

【0048】

但し、

γ : 視線方向 $\times 3$ 変形分へのウェイトパラメータ

【局所的概略位置合わせ】

上に述べた全体的概略位置合わせを自動で行った場合に、それがうまく合わなかったときに、手動で合わせることとなるが、ここに述べる局所的概略位置合わせは、手動での位置合わせの際にできるだけ簡単に行うための手法である。なお、自動でうまくいかなかった分は一旦リセットし、初めから手動でやり直す。

【0049】

局所的概略位置合わせでは、3次元データDT上の特徴的な線または点と、標準モデルDS上の特徴的な線または点とを対応づけ、それらの距離を最小にするように標準モデルDSの位置、方向、およびサイズを変更する。なお、線と線とを対応付けた場合は、一方の線上の点とその点から他方の線上へ降ろした垂線のうち最短となる点とを特徴点とし、線上でこれらの点を複数点取得するものとする。

【0050】

すなわち、3次元データDT上の特徴点とそれに対応する標準モデルDS上の特徴点との距離に対して、次の(4)式に示すエネルギー関数E(s_i, α_i, t_i)が最小となるように、標準モデルDSのt_i, α_i, s_iを導く。

【0051】

【数4】

$$E(s_i, \alpha_i, t_i) = \sum_k |M_k(s_i, \alpha_i, t_i, x) \cdot C_k|^2 \quad \dots (4)$$

【0052】

但し、

k : 対応する特徴点の個数

M_k : 位置合わせ後の標準モデル上の特徴点

x : 位置合わせ前の標準モデル上の特徴点

C_k : 3次元データ上の特徴点

S_i : 標準モデルの各方向の偏倍量

α_i : 標準モデルの各方向の回転

t_i : 標準モデルの各方向への移動量

また、3次元計測装置16による計測（撮影）が一方向からに限られる場合に、奥行き方向（Z方向）のスケールが正確に得られない場合がある。その場合には、上に述べた全体的概略位置合わせの場合と同様に、次の（5）式を用いてZ方向のスケールを補正する方法が考えられる。

【0053】

【数5】

$$E(s_i, \alpha_i, t_i) = \sum_k |M_k(s_i, \alpha_i, t_i, x) C_k|^2 + \gamma \left[s_3 - \frac{1}{2}(s_1 + s_2) \right]^2 \quad \dots \quad (5)$$

【0054】

〔輪郭・特徴点の抽出〕

3次元データDTまたは2次元画像FT上に、輪郭および特徴点を抽出する（#14）。標準モデルDSについての輪郭RKおよび特徴点TTを予め抽出しておいた場合には、それらと同じ位置に配置されるべき輪郭および特徴点を、3次元データDT上に、またはそれに対応する2次元画像上に配置する（図7参照）。

【0055】

標準モデルDSについての輪郭RKおよび特徴点TTが予め抽出されていない場合には、3次元データDT上または2次元画像上への配置と合わせて標準モデルDS上でも指定する。

〔データ削減〕

次に、計算量および誤差を削減するために、3次元データDTについてデータの削減を行い、必要且つ信頼性の高いデータのみを取り出す（#15）。データの削減を行うことによって、元の3次元データDTの形状を崩すことなく、計算量を減らすことができる。

【0056】

データの削減に当たって、例えば、対象物の領域外のデータを除外し、不要なデータを除く。例えば、2次元画像FTから顔の領域を判別し、その領域に対応した3次元データDTのみを残す。あるいは、対象物と背景との間の距離の相違を用いて領域を判別する。また、概略位置合わせの情報を用いて、顔の領域を抽出するなどの各種の方法がある。また、3次元データDTに信頼性データDRがある場合には、信頼性の高いもののみを残す。近隣にデータが多い場合はそのデータを間引き、密度を平均化する。

【0057】

データを間引いて密度を平均化する場合は、次の(6)式で示される条件を満たす3次元データDTのみを採用する。

【0058】

【数6】

$$|P^k - \tilde{P}^r| > \frac{r_{det}(P^k) + r_{det}(\tilde{P}^r)}{2} \quad \dots (6)$$

【0059】

但し、

P^k : 構成点

P^r : 既に採用された構成点

$R_{det}(x)$: 構成点 x の周囲の密度を表す関数

上の(6)式によると、注目されているデータ P^k について、それまでに採用されて残っているデータ P^r との間の距離が一定以上であれば、そのデータ P^k を採用する。

〔変形〕

標準モデルDSの変形が行われる(#16)。ここでは、3次元データDTの各構成点と標準モデルDSの面との間の距離に関連して定義されたエネルギー関数 e_1 を用いるとともに、それに加えて、標準モデルDSの特徴点と3次元データDTに対して指定された特徴点との間の距離に関連して定義されるエネルギー

関数 e_3 、標準モデル DS の輪郭と 3 次元データ DT に対して指定された輪郭との間の距離に関連して定義されるエネルギー関数 e_2 、および、過剰な変形を回避するために定義されたエネルギー関数 e_s を用い、それらを総合したエネルギー関数 e を評価し、総合のエネルギー関数 e が最小となるように標準モデル DS の面を変形させる。

【0060】

なお、総合のエネルギー関数 e として、 e_1 , e_2 , e_3 , e_s の 4 つの関数を用いるのが一番望ましいが、 e_1 ~ e_3 のうち任意の 2 つだけを用いることも可能である。

【0061】

次に、各エネルギー関数について順次説明する。

〔標準モデルと 3 次元データとの距離〕

図 8において、3 次元データ DT を構成する点群の 1 つが点 P_k で示されている。標準モデル DS の面 S において、点 P_k に最も近い点が Q_k で示されている。点 Q_k は、点 P_k から面 S に垂線を下ろしたときの交点である。ここでは、点 P_k と点 Q_k との距離が評価される。

【0062】

すなわち、3 次元データ DT の各点と標準モデル DS の面との差分エネルギー e_1 は、データ削減後の 3 次元データ DT 上の点 P_k と、それを標準モデル DS の面 S 上に投影した点 Q_k との二乗距離を用いて、次の (7) 式によって算出される。

【0063】

【数7】

$$e_1(T_1) = \frac{1}{WL^2} \sum_k w(\rho^k) [d^{kT} (Q^k - P^k)]^2 \quad \dots \quad (7)$$

【0064】

但し、

T1A：制御点群

P_k : 削減後の3次元データの構成点

Q_k : 構成点からモデル表面への投影点

K : 削減後の構成点の個数

d^k : 構成点からモデル表面への投影方向,

$$d^k = (Q_k - P_k) / \|Q_k - P_k\|$$

ρ_k : 構成点 P_k の信頼性

$w(\rho_k)$: 信頼性関数, $w(\rho_k) = 1 / (\alpha + \rho_k)^n$

W : $\sum w(\rho_k)$

L : 種々のエネルギーを同一単位で扱うための調整用スケール

〔標準モデル上の輪郭と計測データ上の輪郭との距離〕

ここでは、3次元データ D_T 上に指定された輪郭 R_K 、または2次元画像 F_T 上に指定された輪郭 R_K と、標準モデル D_S 上の輪郭 R_K との距離が評価される。

【0065】

計測データの輪郭 R_K が3次元データ D_T 上に指定される場合は、3次元データ D_T の輪郭 R_K 上の点から標準モデル D_S 上の対応する輪郭 R_K へ垂線を降ろし、その垂線のうち最短のものを距離とする。なお、輪郭 R_K 上では複数の点を指定する。

【0066】

計測データの輪郭 R_K が2次元画像 F_T 上に指定される場合は、2次元画像 F_T を撮影したカメラについてのカメラパラメータを用い、標準モデル D_S の輪郭 R_K を2次元画像 F_T 上に投影する。2次元画像 F_T の輪郭 R_K 上の点から、標準モデル D_S の対応する輪郭 R_K へ垂線を降ろし、その垂線のうち最短のものを距離とする。なお、輪郭 R_K 上では複数の点を指定する。

【0067】

計測データの輪郭 R_K が3次元データ D_T 上に指定される場合に、標準モデル D_S の輪郭 R_K 每の差分エネルギー e_2 は、それらの距離の二乗和を用いて次の(8)式によって計算される。

【0068】

【数8】

$$e_2(T_2^A) = \frac{1}{nl^2} \sum_{k=1}^n \left[d^{kT} (q^k - p^k) \right]^2 \quad \dots (8)$$

【0069】

但し、

T2A：制御点群

p^k：3次元データ上の輪郭点q^k：3次元データ上の輪郭点から対応するモデル輪郭への垂足点

n：1つのモデル輪郭に対応が付けられている3次元データの輪郭点数

d^k：計測データの輪郭点から対応するモデル輪郭線への投影方向、

$$d^k = (q^k - p^k) / \|q^k - p^k\|$$

1：種々のエネルギーを同一単位で扱うための調整用スケール

計測データの輪郭R_Kが2次元画像F_T上に指定される場合に、標準モデルD_Sの輪郭R_K毎の差分エネルギーe₂'は次の(9)式によって計算される。

【0070】

【数9】

$$e_2'(T_2^A) = \frac{1}{nl^2} \sum_{k=1}^n \left[d^{kT} (q^k - p^k) \right]^2 \quad \dots (9)$$

【0071】

但し、

T2A：制御点群

p^k：2次元画像上の輪郭点q^k：2次元画像上の輪郭点から2次元画像上に投影された対応するモデル輪郭への垂足点

n：1つのモデル輪郭に対応が付けられている計測データの輪郭点数

d^k : 2次元画像上の輪郭点から対応するモデル輪郭への投影方向,

$$d^k = (q^k - p^k) / \|q^k - p^k\|$$

1 : 種々のエネルギーを同一単位で扱うための調整用スケール

計測データの輪郭RKを2次元画像FT上で指定する理由は、例えば3次元データDTがあいまいな場合に、3次元データDT上に輪郭RKを指定すると輪郭RKそのものが不正確となるからである。したがって、それに代えて2次元画像FTを用いて輪郭RKを抽出するのである。

【標準モデル上の特徴点と対応した計測データ上の特徴点との距離】

計測データ上に特徴点TTを設定することにより、3次元データDT上に指定された特徴点TT、または2次元画像FT上に指定された特徴点TTと、標準モデルDS上の特徴点との距離が評価される。

【0072】

3次元データDT上の特徴点TTと標準モデルDS上の特徴点TTとの差分エネルギー e_3 は、対応する特徴点TTの二乗距離を用いて次の(10)式によつて計算される。

【0073】

なお、2次元画像FT上に特徴点TTを指定した場合は、カメラパラメータを用いて標準モデルDSの特徴点TTを2次元画像FT上に投影し、2次元画像FT上での差分エネルギーを計算する。

【0074】

【数10】

$$e_3(T_3^A) = \frac{1}{NL^2} \sum_{k=1}^N |F^k - G^k|^2 \quad \dots (10)$$

【0075】

但し、

T3A : 制御点群

Fk : 計測データの特徴点

G_k : 計測データの特徴点に対応する標準モデル上の特徴点

N : 計測データの特徴点と標準モデル上の特徴点との対応数

L : 種々のエネルギーを同一単位で扱うための調整用スケール

〔過剰な変形を回避するための安定化エネルギー〕

上に述べた差分のエネルギーに加え、過剰な変形を回避するための安定化エネルギー e_s が導入される。

【0076】

すなわち、変形に用いられる制御点の間が、図9に示す仮想バネ (elastic bar) K_B によってつながれているものとする。仮想バネ K_B の制約に基づいて、標準モデル D_S の面 S の形状の安定化のための安定化エネルギー e_s が定義される。

【0077】

なお、仮想バネは必ずしも制御点間に張られている必要はない。制御点と仮想バネとの関係が明確であればよい。

図9において、フィッティング対象である標準モデル D_S の面 S の一部が示されている。面 S は、制御点群 $U = \{u_i, i = 1 \dots N\}$ で形成されている。隣接する制御点間には、仮想バネ K_B が配置されている。仮想バネ K_B は、制御点間に引っ張り力による拘束を与え、面 S の異常変形を防ぐ働きをする。

【0078】

つまり、隣接する制御点 u の間隔が大きくなった場合に、それに応じて仮想バネ K_B による引っ張り力が大きくなる。例えば、点 Q_k が点 P_k に近づく場合に、その移動にともなって制御点 u の間隔が大きくなると、仮想バネ K_B による引っ張り力が増大する。点 Q_k が移動しても制御点 u の間隔が変わらなければ、つまり制御点 u 間の相対位置関係に変化がなければ、仮想バネ K_B による引っ張り力は変化しない。仮想バネ K_B による引っ張り力を面 S の全体について平均化したものと、安定化エネルギー e_s として定義する。したがって、面 S の一部が突出して変形した場合に安定化エネルギー e_s は増大する。面 S の全体が平均して移動すれば安定化エネルギー e_s は零である。

【0079】

安定化エネルギー e_s は、仮想バネ KB の変形の状態により、次の (11) 式により求められる。

【0080】

【数11】

$$e_s(T_s) = \frac{c}{ML^2} \sum_{m=1}^M \left[\frac{1}{L_0^m} (\bar{U}^m - \bar{V}^m)^2 (U^m - V^m) - L_0^m \right]^2 \dots \quad (11)$$

【0081】

但し、

T_s : 制御点群

$U \sim m, V \sim m$: 仮想バネの端点 (制御点) の初期値

U^m, V^m : 変形後の仮想バネの端点

L_0^m : 初期状態の仮想バネの長さ、

$$L_0^m = |U \sim m - V \sim m|$$

M : 仮想バネの本数

c : バネ係数

L : 種々のエネルギーを同一単位で扱うための調整用スケール

したがって、バネ係数 c を大きくすると、仮想バネ KB は硬くなつて変形し難くなる。

【0082】

このような安定化エネルギー関数 e_s を導入することにより、面 S の形状変化に一定の拘束を設けることとなり、面 S の過度の変形を防ぐことができる。

〔総合のエネルギー関数〕

上に述べたように、各エネルギー関数 e_1, e_2, e_3, e_4 について、それぞれ制御点群 $T_{1A}, T_{2A}, T_{3A}, T_s$ が用いられる。ここでは、これらの制御点群 $T_{1A} \sim T_s$ は同じであるが、後述するように互いに異ならせることができる。これら制御点群 T_A を用いて標準モデル D S の変形を行い、次の (12) 式に示す総合

エネルギー関数 $e(TA)$ を最小にする制御点群 TA を求める。

【0083】

【数12】

$$e(T^A) = w_1 e_1(T^A) + \sum_s w_s e_s^s(T^A) + w_3 e_3(T^A) + c e_s(T^A) \dots \quad (12)$$

【0084】

但し、

$e_1(T1A)$: 3次元データの構成点とモデル表面との差分エネルギー

$e_2^s(T2A)$: モデル輪郭毎の計測データ上の輪郭との差分エネルギー

$e_3(T3A)$: 計測データの特徴点とモデル上の特徴点との差分エネルギー

$e_S(TSA)$: 過剰な変形を回避するための安定化工エネルギー

w_i, c : それぞれのエネルギーのウエイトパラメータ

$TA = T1A = T2A = T3A = TSA$

【繰り返し変形】

実際には繰り返し変形を行う (#17)。つまり、制御点を動かして繰り返し変形を行う。n回目の変形後の総合エネルギー関数を $e^n(TA)$ とすると、次の(13)式の条件が満たされたときに、総合エネルギー関数 $e^n(TA)$ が収束したと判断する。

【0085】

【数13】

$$|e^n(T^A) - e^{n-1}(T^A)| < \epsilon \quad \dots \quad (13)$$

【0086】

さて、ここで、変形処理の全体的な流れを図3に沿って説明する。まず、計測データと標準モデルDSとの間で対応する点の組みを作成する(図8の P_k と Q_k) (#21)。

【0087】

面Sを変形し (#22)、変形後の総合エネルギー関数 $e^n(TA)$ を計算する

(#23)。総合エネルギー関数 $e_n(TA)$ が収束するまで (#24でイエス)、処理を繰り返す。

【0088】

総合エネルギー関数 $e_n(TA)$ の収束を判定する方法として、上に述べたように総合エネルギー関数 $e_n(TA)$ が所定の値よりも小さくなったときを収束とする方法、前回の計算と比較した変化の割合が所定値以下となったときに収束とする方法など、公知の方法を用いることが可能である。

【異なる制御点の使用】

上に述べた (12) 式では、フィッティング対象 (3 次元データ DT の構成点、輪郭 RK、特徴点 TT) がそれぞれ異なるエネルギー関数 $e_1 \sim e_4$ について、同じ制御点群を使用したが、ここに示す例は、フィッティング対象毎、すなわちエネルギー関数毎に異なる制御点群を用いる。つまり、制御点群 T1A, T2A, T3A, TSA を互いに異ならせる。

【0089】

この場合には、総合エネルギー関数 $e(TA)$ として上に示した (12) 式を用いることができる。但し、そこに用いられる制御点群 T1A, T2A, T3A, TSA は、互いに異なっており、次に示す関係にある。

【0090】

TA ⊃ T1A

TA ⊃ T2A

TA ⊃ T3A

TA = TSA

すなわち、上に述べたように、特徴点は点であるので、特徴点同士のエネルギーに対しては、局所的な動きになってしまふ。例えば、3 次元データ DT と標準モデル DS との目の位置を合わせようとするときに、特徴点 TT が設定された部分のみが強く引っ張られ、いびつに変形する可能性がある。そのような場合に、全体的な動きとなるようにするのが好ましい。

【0091】

一方、3 次元データ DT の構成点に対しては、目の横などは細かく動いてほし

い。しかし、少数の制御点しか用いない場合には、構成点は細かく移動しない。

そこで、3次元データDTの構成点については多数の制御点を用い、特徴点については少数の制御点を用いる。輪郭RKについてはその中間の量とする。

【0092】

例えば、輪郭RKが急激に変化する部分については、制御点を細かくする。安定化エネルギーは全ての制御点に対してかける。このような制御点の選択は、標準モデルDSを準備する際に行う。

【0093】

なお、制御点群T1A, T2A, T3A, Tsaは互いに異なるのであるが、各制御点群に含まれる制御点は、互いに共通に用いられるものもある。

〔信頼性に応じたウエイトの変更〕

上に述べた(12)式では、各情報についての信頼性が同等であるとして総合エネルギー関数e(TA)を評価したが、ここに示す例は、それぞれの情報の信頼性に応じて重みを変更する。これによって、様々な情報の中からより信頼性の高い情報に重きを置いて判定することができる。

【0094】

なお、それぞれの情報の信頼性は、3次元計測時、または輪郭・特徴点の自動抽出時に得られるものとする。

この場合には、次の(14)式に示す総合エネルギー関数e(TA)を最小にする制御点群TAを求める。

【0095】

【数14】

$$e(T^A) = w_1 W_1(\rho_1) e_1(T^A) + \sum_s w_s W_s(\rho_s) e_s(T^A) + w_c W_c(\rho_c) e_c(T^A)$$

... (14)

【0096】

但し、

ρ_i : 各エネルギー関数 $e_i(TA)$ に関する情報の信頼性

W (ρ i) : 信頼性関数

T A = T 1A = T 2A = T 3A = T SA

【繰り返し変形】

上に述べたステップ# 1 6 の変形処理と同じ処理を、解像度または制御点密度の異なる標準モデルD S を用いて繰り返す (# 1 7)。

【0097】

すなわち、解像度を変更して行う場合には、まず、第1ステップで、低解像度の標準モデル（簡易モデル）D SKを用いて上のステップ# 1 6 の変形処理を行う。次に、第2ステップで、第1ステップで得られた情報を適用して、高解像度の標準モデルD SEを用いてステップ# 1 6 の変形処理と同じ処理を行う。

【0098】

また、制御点密度を変更して行う場合には、まず、第1ステップで、標準モデルD SFから制御点を間引いて生成した低密度の標準モデル（低密度型モデル）D SLを用いて上のステップ# 1 6 の変形処理を行い、これによって大まかなフィッティングを行う。次に、第2ステップで、高密度の標準モデルD SFを用いてステップ# 1 6 の変形処理と同じ処理を行い、精密なフィッティングを行う。なお、第1ステップと第2ステップとで、総合エネルギー関数の収束条件を異ならせればよい。

【0099】

これによって、演算時間を短縮することができ、全体形状を合わせつつ、局所的な形状も精度よく再現でき、より精度の高い3次元モデルM Lを得ることができる。次に、各処理内容を詳しく説明する。

・ (1) 簡易モデルを用いる繰り返し変形

簡易モデルD SKとして、例えば図1 1に示す簡易モデルD SK 1が用いられる。

【0100】

図1 1において、簡易モデルD SK 1は、図4に示す標準モデルD S から構成点を間引いて減少させ、ポリゴンを粗くしたものである。構成点を間引くことに

よって解像度が低下し、軽量となる。例えば、標準モデルDSの構成点が1万個程度あった場合に、簡易モデルDSKの構成点は数百個程度である。したがって、簡易モデルDSKを、低解像度モデルといふことがある。これに対して、標準モデルDSを詳細モデルといふことがある。なお、簡易モデルDSKでは制御点の個数も減少する。

【0101】

例えば、標準モデルDSの構成点が1万個程度あった場合に、簡易モデルDSKの構成点は数百個程度である。

簡易モデルDSK1には、特徴点TTおよび制御点uが設定されている。簡易モデルDSK1の特徴点TTは、標準モデルDSの特徴点TTと対応がとれており、変形情報の受渡しに用いられる。但し、簡易モデルDSK1の特徴点TTの個数は、標準モデルDSの特徴点TTの個数と必ずしも同一ではなく、通常、簡易モデルDSK1の特徴点TTの個数の方が数が少ない。

【0102】

したがって、変形処理の第1ステップにおいて、簡易モデルDSK1を用いて変形を行う。第1ステップで変形した後の特徴点TTの位置情報に基づいて、第2ステップにおいて標準モデルDSを予め変形し、変形された標準モデルDSに対して変形処理を行う。

(2) 低密度型モデルを用いる繰り返し変形

低密度型モデルDSLとして、例えば図12に示す低密度型モデルDSL1が用いられる。

【0103】

図12において、低密度型モデルDSL1は、図4に示す標準モデルDSから制御点uを間引いてその密度を減少させたものである。構成点の個数は標準モデルDSと同じである。

【0104】

したがって、変形処理の第1ステップにおいて、標準モデルDSから制御点を間引いて生成した低密度型モデルDSLを用いて変形を行う。第1ステップで変形した後の構成点の位置情報に基づいて、第2ステップにおいて標準モデルDS

を予め変形し、変形された標準モデルDSに対して変形処理を行う。

【0105】

このように、第1ステップで、粗い制御点群TAaを用いて大まかな形状を合致させる。その後の第2ステップで、全体的に制御点密度を増大し、または特に精緻な合致を必要とする部分の制御点を増大した細かな制御点群TAbを用い、精密な形状を合致させる。これによって演算時間を短縮することができる。最初から多くの制御点を用いて変形を行うと、計算時間を無駄に多く費やす可能性が高い。

【0106】

また、第1ステップでは大体の形状しか合わないが、見当違いの形状になる可能性は少ない。因みに、最初から標準モデルDSを用いて精密な変形を行うと、見当違いの形状に変形される可能性が大きくなる。

【0107】

上に述べた実施形態において、モデリング装置1の構成、回路、処理内容、処理順序、処理タイミング、係数の設定などは、本発明の趣旨に沿って適宜変更することができる。

【0108】

【発明の効果】

本発明によると、演算時間を短縮することができ、全体形状を合わせつつ、局所的な形状も精度よく再現することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明に係るモデリング装置を示すブロック図である。

【図2】

モデリング装置の全体の処理の流れを示すフローチャートである。

【図3】

変形処理を示すフローチャートである。

【図4】

標準モデルの例を示す図である。

【図5】

対象物から3次元データを取得する様子を示す図である。

【図6】

概略の位置合わせの様子を示す図である。

【図7】

輪郭および特徴点の抽出処理の様子を示す図である。

【図8】

標準モデルの面と3次元データの点とを模式的に示す図である。

【図9】

標準モデルの異常変形を防ぐための仮想バネを説明するための図である。

【図10】

対象物の3次元データおよび信頼性データを取得する方法の例を説明する図である。

【図11】

簡易モデルの例を示す図である。

【図12】

低密度型モデルの例を示す図である。

【符号の説明】

1 モデリング装置

10 処理装置

ML 3次元モデル（形状モデル）

DS 標準モデル

DSK 簡易モデル

DSL 低密度型モデル

RK 輪郭

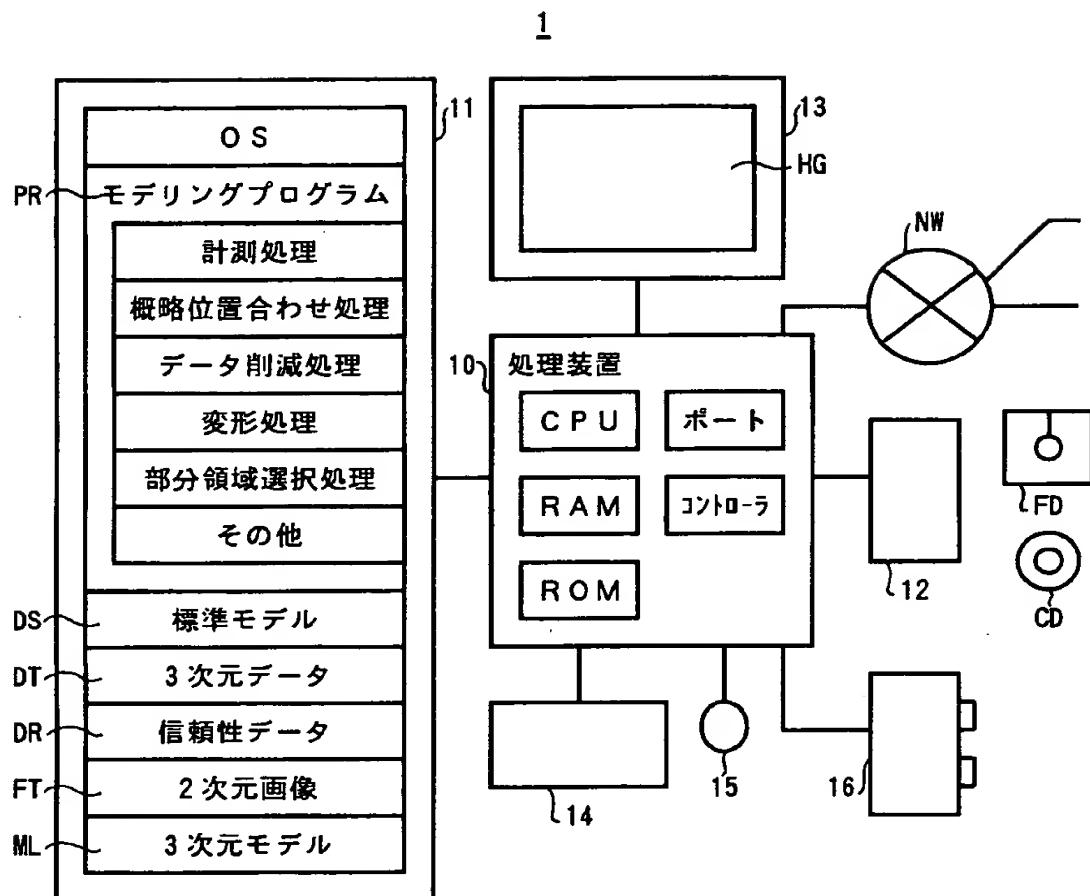
TT 特徴点

TA 制御点群

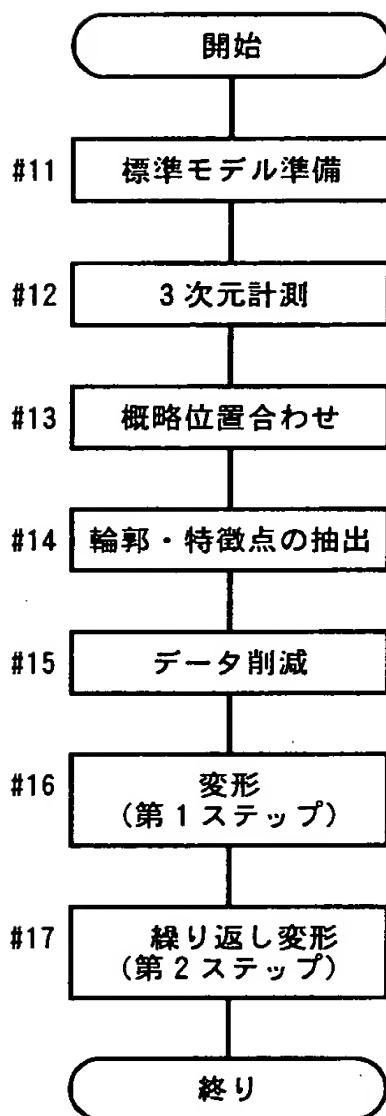
PR モデリングプログラム

【書類名】 図面

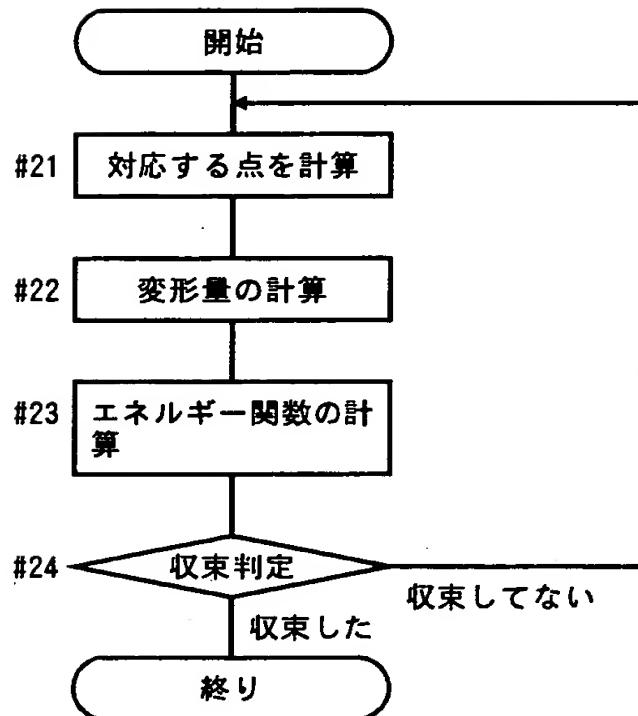
【図1】



【図2】

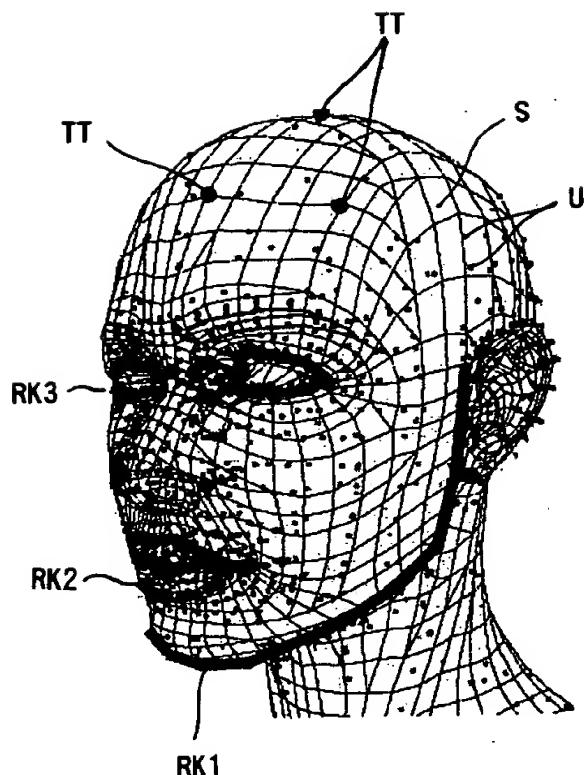


【図3】

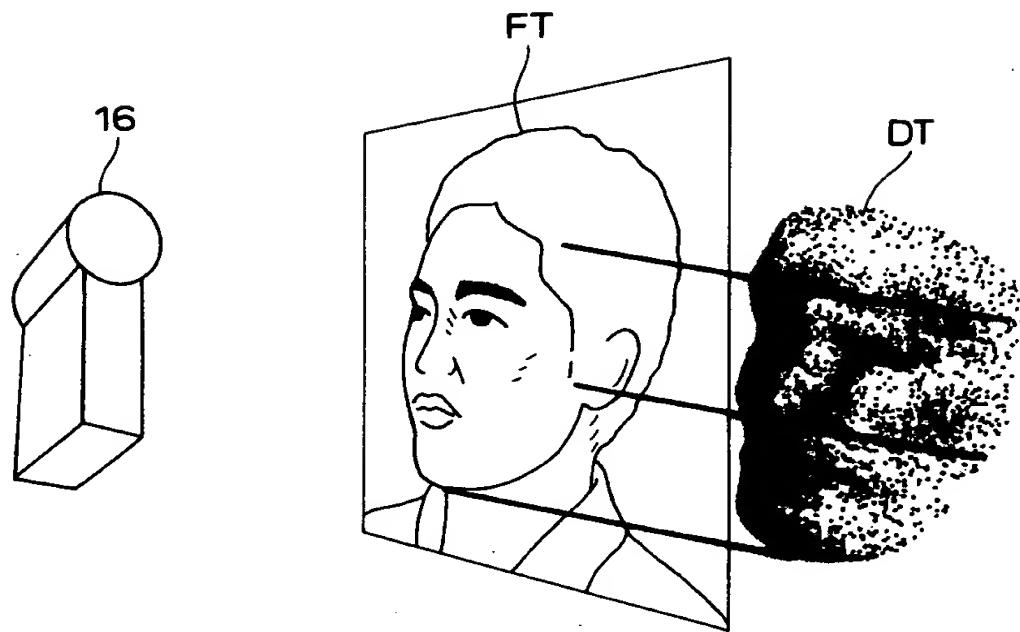


【図4】

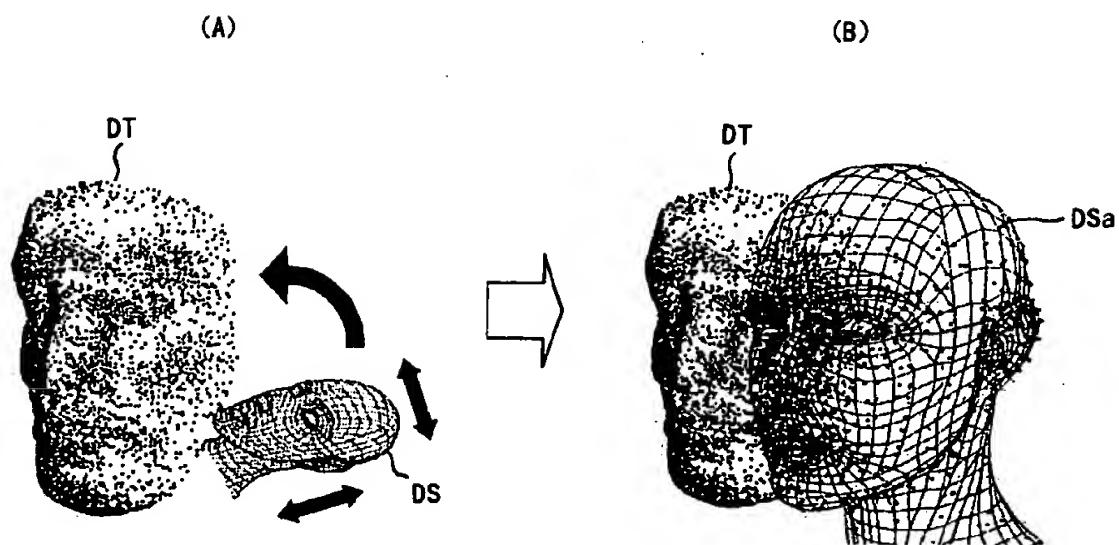
DS1



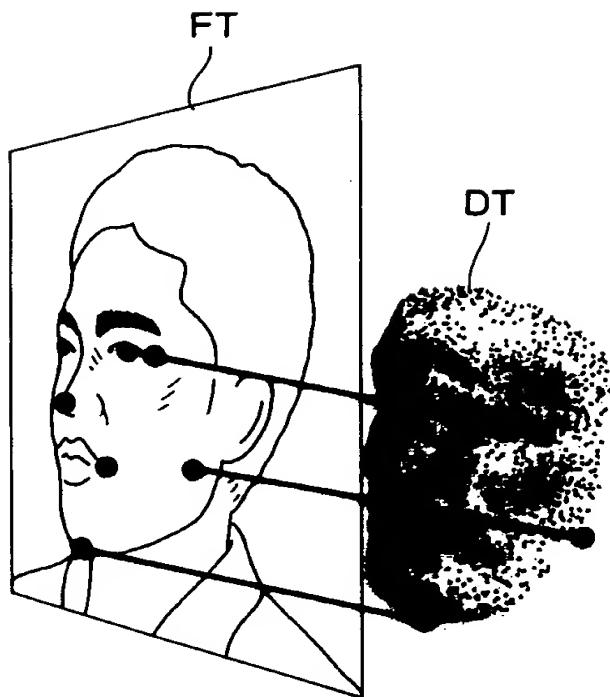
【図5】



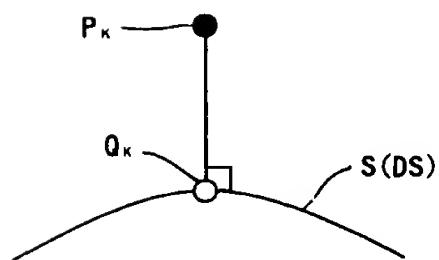
【図6】



【図7】

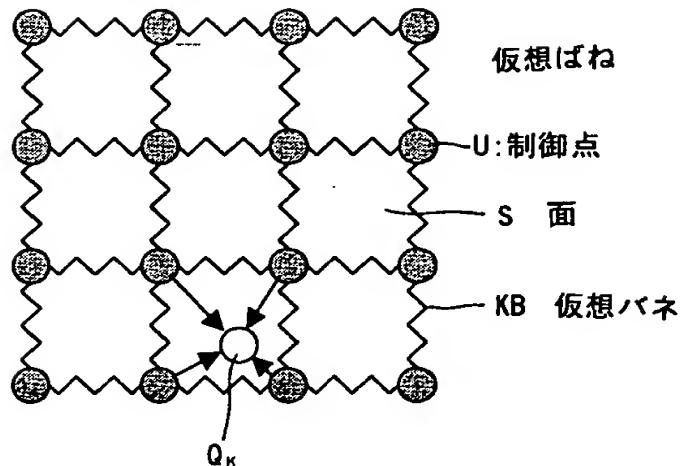


【図8】

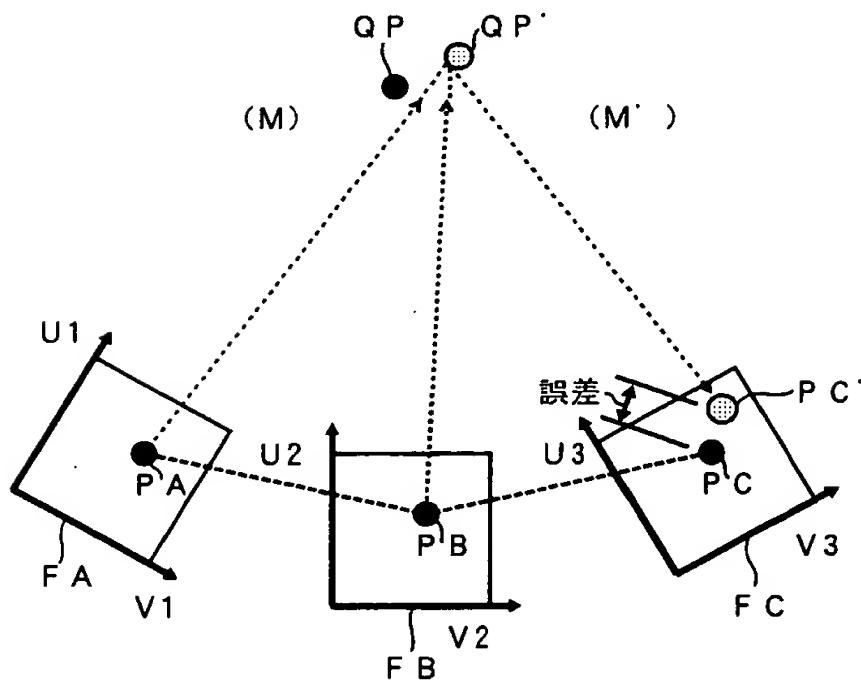


[図9]

DS

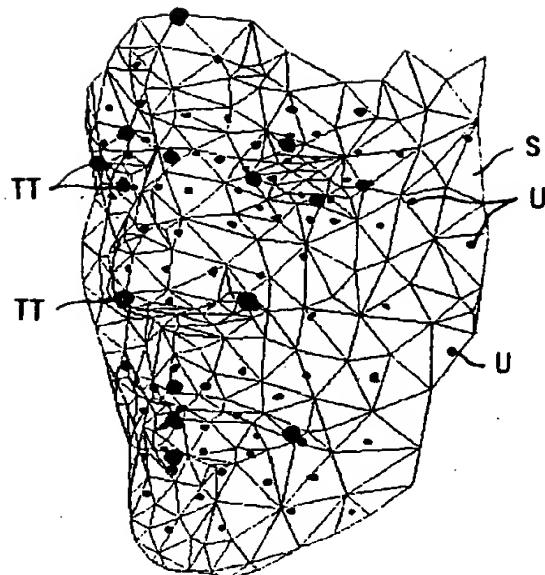


【図10】



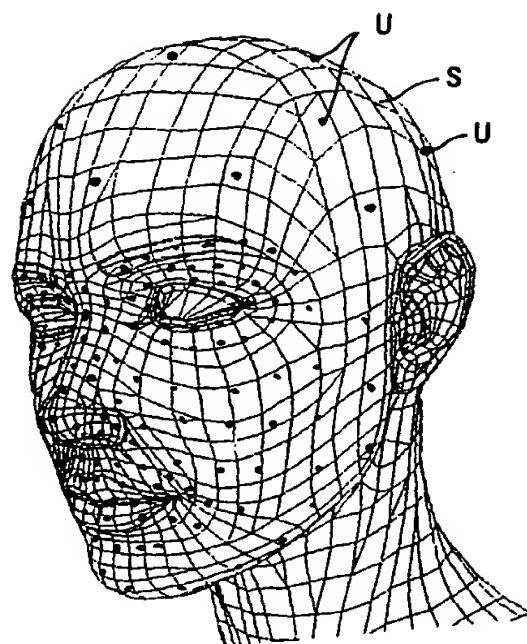
【図11】

DSK1



【図12】

DSL1



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 演算時間を短縮することができ、全体形状を合わせつつ、局所的な形状も精度よく再現できるようにすること。

【解決手段】 標準モデルを計測データに基づいて変形させて形状モデルを生成する方法であって、標準モデルとして低解像度のモデルを用い、低解像度のモデルを計測データに基づいて変形する第1ステップと、標準モデルとして高解像度のモデルを用い、第1ステップで得られた情報を適用した後に高解像度のモデルを計測データに基づいて変形する第2ステップとを有する。

【選択図】 図2

出願人履歴情報

識別番号 [000006079]

1. 変更年月日 1994年 7月20日

[変更理由] 名称変更

住 所 大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号 大阪国際ビル
氏 名 ミノルタ株式会社

出願人履歴情報

識別番号 [598108467]

1. 変更年月日 1998年 8月11日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都渋谷区広尾5-19-9 広尾ONビル
氏 名 株式会社ゲン・テック